

法政大学学術機関リポジトリ

HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

# 植物油系混合燃料を用いた小型ディーゼル機関の 燃焼改善効果について

著者	廣里 俊哉
出版者	法政大学大学院理工学・工学研究科
雑誌名	法政大学大学院紀要．理工学・工学研究科編
巻	58
発行年	2017-03-31
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10114/13477">http://hdl.handle.net/10114/13477</a>

# 植物油系混合燃料を用いた小型ディーゼル機関の 燃焼改善効果について

EFFECT OF COMBUSTION IMPROVEMENT FOR SMALL DIESELENGINE  
BY USING BLENDED EDIBLE FUEL

廣里 俊哉

Shunya HIROSATO

指導教員 川上忠重

法政大学大学院理工学研究科機械工学専攻修士課程

Recently, the energy transformation and next generation fuels have been studied. On the other hand, waste edible oil and industrial waste oil are attracted from the point of view for environmental effect. However, it is well known that the combustion products are increase by using high mixing rate of these fuels.

The experiment has been carried out to examine the effects on combustion characteristics for small diesel engine by using emulsified edible fuel and edible oil blended butanol.

The main results are as follows; 1) It is possible to operate on the almost same level of NO<sub>x</sub> emissions for light oil by using the less than 20% mixing rate edible fuels. 2) PM emissions decrease than that of light oil by using the less than 20% mixing rate edible fuels. 3) PM and NO<sub>x</sub> emissions decrease than that of light oil by using the emulsified edible fuels. 4) PM emissions decrease than that of light oil by using mixed edible fuel with butanol.

**Key Words** : Diesel engine, Combustion, Edible oil, Emulsion

## 1. 緒論

近年、自動車をはじめとする内燃機関では燃料である石油資源の枯渇や、内燃機関から排出される燃焼生成物が問題視されている。これに対し、水素等の次世代型燃料や、他の動力源に関する研究が行われている。その中でも、植物油は再生可能な資源であり、カーボンニュートラル理論や、含酸素による燃焼改善が期待できる。一方で、植物油は高粘度、低揮発性といった特徴から、植物油を多量に使用した場合、燃焼生成物の増加が予期される。これに対し、燃料に水を添加したエマルジョン化を行うことで、水の微小爆発を利用した燃焼生成物を低減する手法を用いることにより、環境負荷への影響が少ないクリーンな燃焼が実現されつつある。

本研究では、これらの観点から、現在、主に家庭用として用いられている植物油添加による、小型ディーゼル機関の燃焼特性に及ぼす影響の検討を行った。さらに、燃料の微粒化及び、着火性の改善を目的として、植物油と軽油の混合燃料に、水の添加による燃料のエマルジョン化を行った場合と、アルコールを添加した場合の影響について、それぞれ検討を行った。

## 2. 実験方法および実験装置

### 2.1 供試機関

本実験で使用した供試機関は KIPOR 製空冷式ディーゼル発電機 KDE2.0E を使用した。なお、吸気系、噴射時期などは標準仕様からの変更は行っていない。Table 1 に供試機関の諸元を示す。

負荷の設定にはグリーンウッド社製遠赤外線ヒーター GEH-K100N を用いて出力を切り替えることで、設定負荷を 0, 350, 700, 1050W の 4 種類のデータを測定した。

排出ガスの測定には AVL 社製 Di-Com4000 を使用した。排気特性の観察は機関を十分暖気運転した後、排気管から排出された排出ガスの一部を装置に導入することで測定した。この装置では NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, HC, O<sub>2</sub> の 5 種を測定した。PM の測定には株式会社ヤナコ計測社製光透過式黒煙測定器 オパシメータ ALTAS-5100D を使用した。

圧力センサーは KISTLER 社製の水冷式ピエゾ型圧力変換器にて測定した電気信号を、アンプを介して増幅した後、共和電業製 PCD-320A を用いて PC 上に出力することで行った。なお、燃焼圧力は 50 サイクルの平均値を算出し、検討を行った。実験装置の概略を Fig.1 に示す。

Table 1 Engine specifications

Engine type	4stroke cycle diesel
Combustion system	Direct injection
Cooling system	Air cooling
Number of cylinder	1
Bore ×Stroke	70mm×55mm
Displacement	0.221L
Compression ratio	20
Rated output	2.5/3000 [kW/rpm]
Fuel injection timing	17±1deg. BTDC

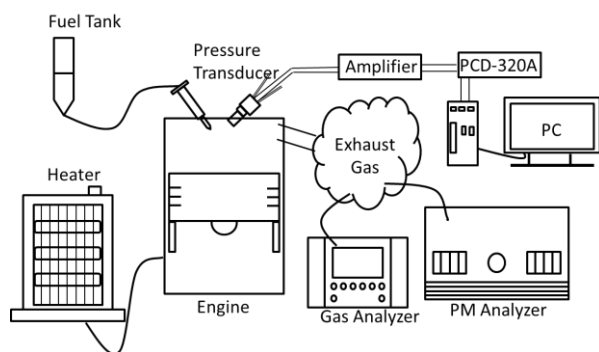


Fig. 1 Experiment device

## 2.2 供試燃料

本実験では軽油をベースに大豆油、菜種油の混合燃料を使用し、植物油の添加率  $W(\%)$  は(1)式のように定義した。また、エマルジョン燃料については軽油及び上記の混合燃料をベース燃料とし、乳化剤は和光純薬工業社製のソルビタンモノオレエートとポリオキシエチレンソルビタンモノオレエートを 1wt% 添加し、混合する水の割合は 5~10wt% とした。また、アルコール混合については、着火性の高い 1-ブタノールを使用した。なお、添加率については植物油と同様の定義で混合を行った。また各燃料の燃料性状を Table 2 に示す。

$$W = \frac{\text{Volume of Component}}{\text{Volume of base fuel} + \text{Volume of Component}} \times 100 \quad (1)$$

Table 2 Fuel properties

	Light oil	Soybean	Rapeseed	1-Butanol
Lower heat value [MJ/kg]	43.2	36.8	37.3	33.1
Density [g/cm <sup>3</sup> ]	0.84	0.88	0.89	0.81
Ignition point [°C]	250	445	380	345
Kinetic viscosity(40°C) [mm <sup>2</sup> /s]	2~6	35.4	37.4	2.3
Oleic acid	—	22.5	21.9	—
Linoleic acid	—	54.1	13.1	—
Linolenic acid	—	8.3	8.6	—
Palmitic acid	—	10.3	2.7	—
Stearic acid	—	4.7	2.8	—

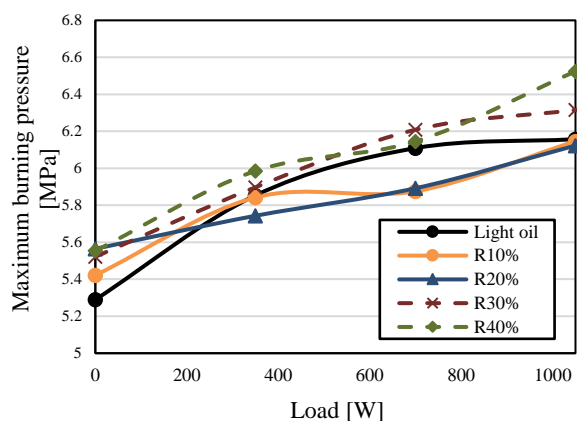


Fig. 2.1 Maximum burning pressure (Rapeseed)

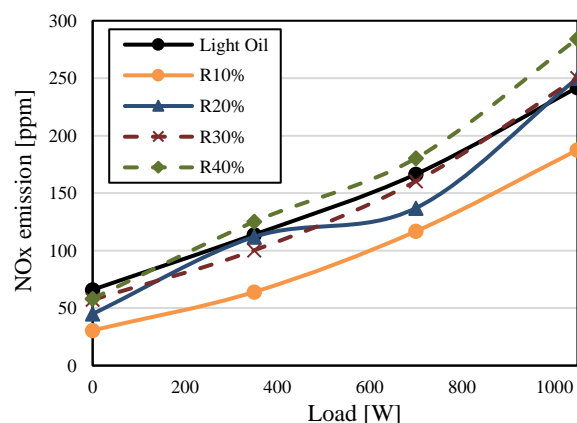


Fig. 2.2 NOx emission (Rapeseed)

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 菜種油添加による影響

図中における混合燃料の表記は R: Rapeseed oil, S: Soybean oil, W: Water, B: Butanol とした。

Fig.2.1, 2.2 に各設定負荷における最高燃焼圧力及び、NOx 排出量を示す。どの燃料においても負荷の増大に伴い、最高燃焼圧力及び、NOx の増加傾向が見られた。これは負荷の増加により、燃料消費量が増加し、燃焼圧力、燃焼温度の上昇に伴う、サーマル NOx の発生が促進したと考えられる。菜種油添加率 20% 以下では軽油より減少傾向が見られたが、添加率 30% では 1050W にて、また 40% ではどの負荷においても、軽油よりも排出量が増大した。添加率 20% 以下では総発熱量低下に伴う燃焼温度の低下による影響だと考えられる。一方で、添加率 30% や 40% では、植物油の含酸素燃焼による燃焼改善に伴う燃焼温度の上昇及び、植物油を添加したことによって燃料の粘度が上昇し、燃料の拡散不足によって局所的な高温部分が発生したことに起因するものと考えられる。

Fig.2.3 に各設定負荷における PM 排出量を示す。負荷の増大に伴い PM の増加傾向が見られた。これは負荷の増大に伴う燃料消費量の増大により、余剰未燃分が増加したことに起因するものと考えられる。添加率 20% 以下

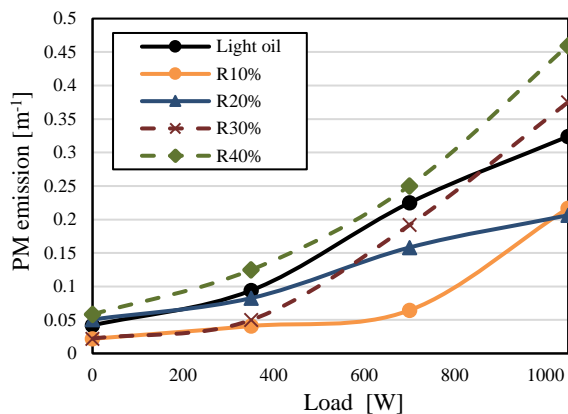


Fig. 2.3 PM emission (Rapeseed)

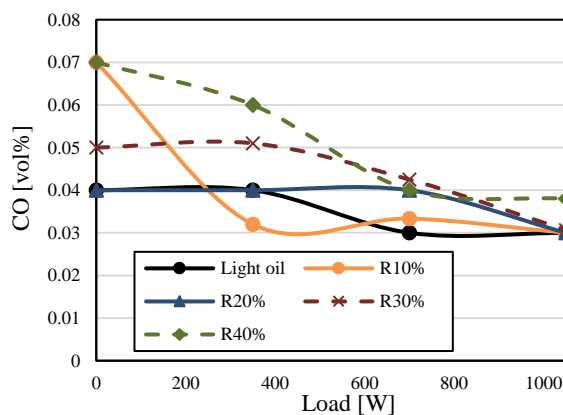


Fig. 2.4 CO emission (Rapeseed)

では含酸素燃料としての影響が強く、完全燃焼の促進により軽油単体よりも PM 排出量が低減した。一方、添加率 30%では、高負荷領域において軽油単体よりも PM 排出量が増加している。植物油は脂質を含むことから軽油と比べて粘度が非常に高く、燃料が燃焼室内で均一に拡散せず部分的な燃焼となり、また植物油は総じて着火性が悪いことから着火遅れが生じ、これによって不完全燃焼が促進された為と考えられる。<sup>[1]</sup> Fig.2.4 に各設定負荷における CO 排出量を示す。全体を通して添加率の増大に伴い、CO 排出量は増大した。これは PM と同様に不完全燃焼の割合が増加した為と考えられる。

### 3.2 植物油及び動粘度による影響

Fig.3.1, 3.2, 3.3 に植物油の添加率に対する最高燃焼圧力、NOx, PM 排出量を、それぞれ示す。また、NOx 排出量には各添加率における燃料の動粘度を併せて示した。

Fig.3.1, 3.2 を見ると、動粘度は添加率の増加に伴い増大し、同様に最高燃焼圧力も上昇している。植物油の比較については、どの負荷においても、同程度の値を示し、大きな差異は見られなかった。NOx 排出量についてみると、Fig.2.2 と同様に添加率の増大に伴い、増加していることがわかる。また、植物油の比較については、最高燃焼圧力と同様に、大きな差異は見られなかった。

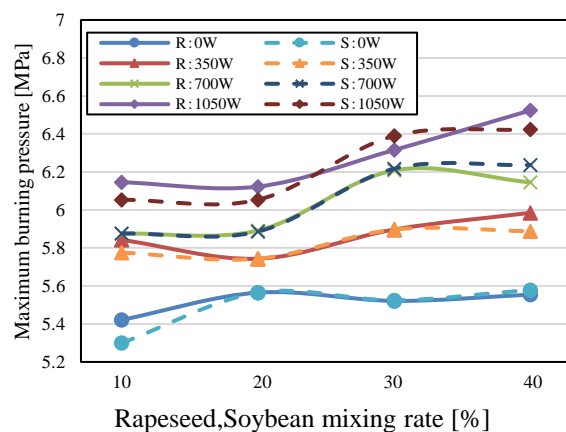


Fig. 3.1 Maximum burning pressure (Edible oil)

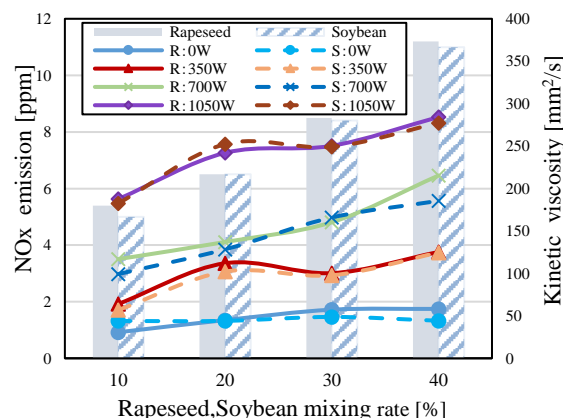


Fig. 3.2 NOx emission (Edible oil)

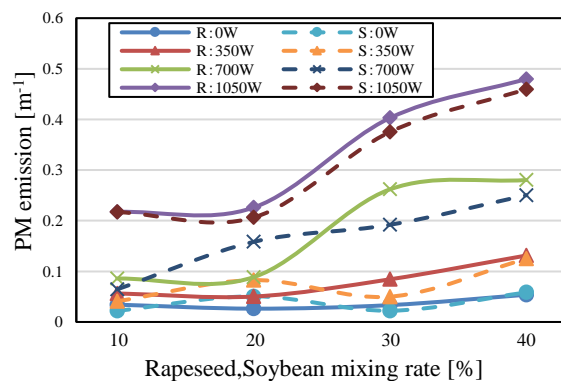


Fig. 3.3 PM emission (Edible oil)

Fig. 3.3 を見ると、PM については、高負荷領域において添加率 20%から 30%にかけて、排出量が大幅に上昇していることがわかる。これは粘度の増大による、局所的な燃焼が生じた為だと考えられる。植物油の比較では、負荷 1050W において PM 排出量は動粘度の高い菜種油のほうが高い値を示している。このため、不完全燃焼についても動粘度の影響が関与していることが考えられる。<sup>[2]</sup>

以上のことから、植物油添加率 30%以上では、局所的な燃焼の発生による燃焼圧力の増大及び、不完全燃焼の増加が考えられ、今後詳細な検討が必要である。

### 3.3 植物油エマルジョン化による影響

Fig.4.1 に各設定負荷における各燃料の燃料消費量を示す。ブタノールを添加した場合では大きな差異は確認されなかったが、水を添加した場合、添加率の増加に伴い、燃料消費量が増加した。これは植物油及び、水添加したことで、発熱量が低下し、これを補う為により多くの燃料を消費した為と考えられる。

Fig. 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 に軽油と菜種油の混合燃料における、1 -ブタノール及び水の添加率に対する最高燃料圧力、NO<sub>x</sub>, PM, CO 排出量をそれぞれ示す。また、菜種油の混合率については 30%（一定）とした。

Fig.4.2, 4.3 から、水を添加した場合、添加率の上昇に伴い、最高燃焼圧力が減少し、NO<sub>x</sub> 排出量も同様に減少していることがわかる。これは添加した水の気化潜熱による燃焼温度の低下に起因し、添加率の増大に伴い、この影響が顕著に表れたことが考えられる。一方で、ブタノールを添加した場合、添加率 5%では最高燃焼圧力及び、NO<sub>x</sub> 排出量はわずかに減少したが、10%では高負荷域において増大した。添加率 5%については発熱量の低下による燃焼温度、燃焼圧力の減少に起因し、添加率 10%については含酸素量の増加による燃焼促進効果による影響と考えられる。

Fig.4.4, 4.5 から、水を添加した場合、添加率 5%では、高負荷域を中心に PM, CO の排出量は減少した。しかし、添加率 10%では、5%と比較して、PM は同程度の排出量を示し、CO 排出量は増大した。添加率 5%については水の添加による燃焼改善による影響が表れたものだと考えられる。<sup>[3]</sup> 一方、添加率 10%では水を添加したことで、燃焼温度の低下が生じ、着火性の悪化や、後燃え期間の増大に起因するものだと考えられる。ブタノールを添加した場合は PM 排出量が水を添加した場合よりもさらに減少し、添加率の増大に伴い、減少率は増大した。これは、ブタノールを添加したことで、燃料中の含酸素分が増大し、燃焼促進効果によって、完全燃焼が促進され、さらに、添加率の増大により、この影響が顕著に表れた為だと考えられる。

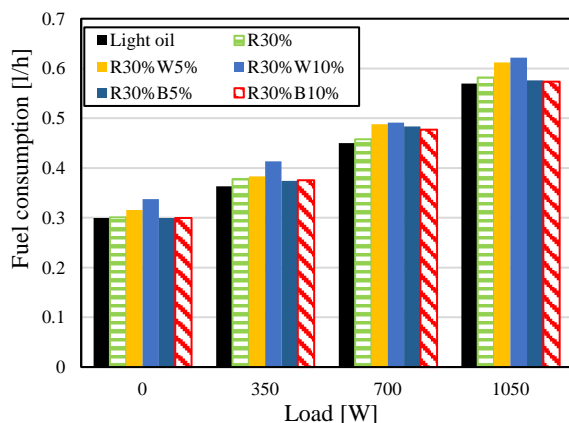


Fig. 4.1 Fuel consumption (R30%)

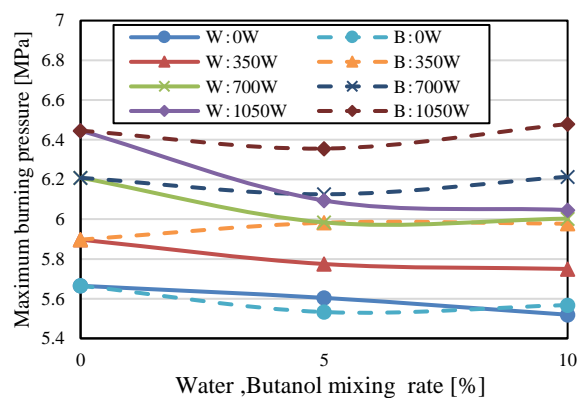


Fig. 4.2 Maximum burning pressure (R30%)

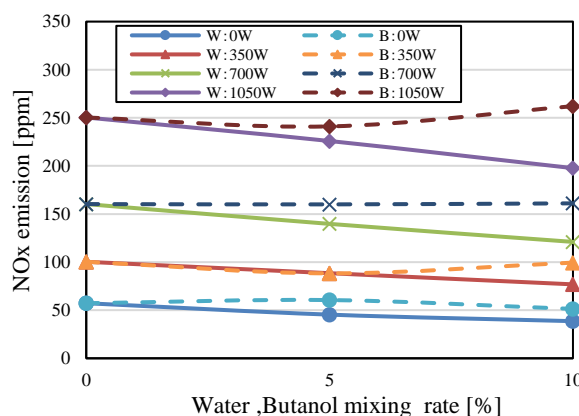


Fig. 4.3 NOx emission (R30%)

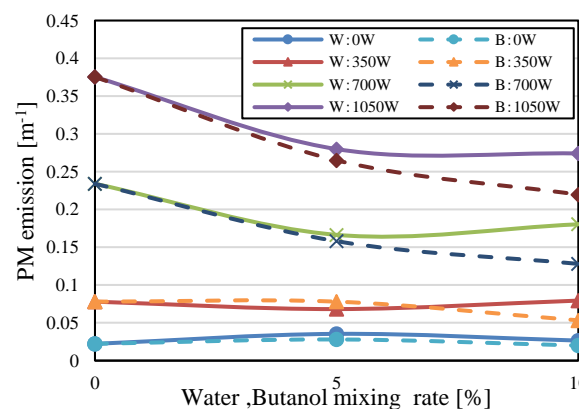


Fig. 4.4 PM emission (R30%)

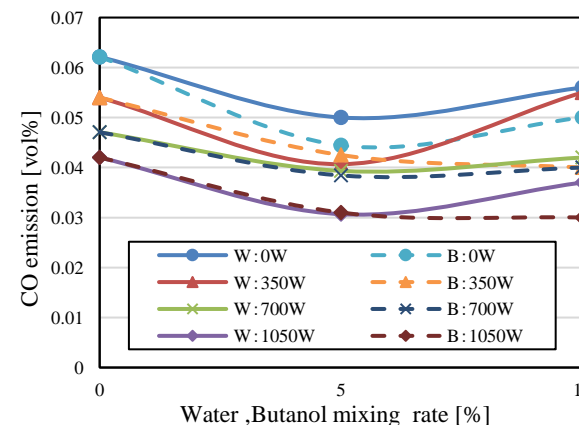


Fig. 4.5 CO emission (R30%)

#### 4. 結論

本研究では植物油混合燃料に水，アルコールを添加した場合の小型ディーゼル機関の燃焼特性に及ぼす影響について，比較検討を行った．得られた結果を以下に示す．

- 1) 植物油添加率 20%以下では軽油と同程度の NOx 排出量での機関運転が可能である．
- 2) 植物油添加率 20%以下では PM の排出量は軽油よりも減少する．
- 3) 植物油と軽油の混合燃料をエマルジョン化することで，NOx と PM の排出量は同時に減少する．
- 4) 植物油と軽油の混合燃料にブタノールを添加することにより，PM 排出量は軽油と比較して減少する．

謝辞：本研究を行うにあたり，終始ご指導，ご鞭撻していただきました川上忠重教授に心から深く感謝し，御礼申し上げます．また，研究活動にご協力いただいたエネルギー変換工学研究室の皆様，多くのご助言とご協力頂きましたワークショップの皆様にも深く感謝いたします．

#### 参考文献

- [1] 廣里俊哉，川上忠重，日本機会学会関東支部第 22 期総会講演論文集， 小型ディーゼル機関の燃焼特性に及ぼす食用油添加の影響について No.703, (2016)
- [2] 湯川英明ら，バイオリファイナリー技術の工業最前線：自動車用バイオ燃料の技術開発, (2008), p187-189
- [3] 山本寛，環境にやさしいエマルジョン燃料, (2008), p58